## 表面活性化接合に必要な表面平坦性を維持する GaN のエッチング GaN Etching to Maintain Surface Flatness Required for Surface Activated Bonding 阪大院工, <sup>0</sup>横山 尚生, 田辺 凌, 森川 隆哉, 藤原 康文, 上向井 正裕, 谷川 智之, 片山 竜二 Osaka Univ., <sup>O</sup>N. Yokoyama, R. Tanabe, T. Morikawa, Y. Fujiwara, M. Uemukai, T. Tanikawa, R. Katayama E-mail: yokoyama.n@goe.eei.eng.osaka-u.ac.jp

GaN は強い光学非線形性を示すため、極性反転構造を作製することで高効率な横型擬似位相整合 (T-QPM)波長変換デバイスへの応用が期待されている[1]。我々はこれまでに表面活性化接合を用いて GaN 極性反転積層構造を作製しチャネル導波路型 T-OPM デバイスの作製プロセスを構築したが、GaN 薄膜同士を接合させるには表面平坦性が重要であることが分かってきた[2,3]。さらに T-OPM デバイスで は、位相整合条件を満たすために極性反転積層構造の各層の膜厚を300 nm 以下と薄くし、かつ精密に 膜厚を制御する必要がある。しかし、GaN のヘテロエピタキシャル成長の初期は三次元成長が支配的で あることから、平坦な極薄膜の作製が難しい。そのため、T-QPM デバイスを構成する薄膜は、数 µm 程度 の平坦膜を成長したのちに表面平坦性を維持したまま膜厚を調整して作製する必要がある。本研究では、 表面活性化接合が可能な平坦な表面を維持するドライエッチング条件の確立を目的とした。

2 層極性反転積層 GaN 導波路を用いた SHG デバイスの設計膜厚は、サファイア基板上 GaN で 280 nm、Si 基板上 GaN で 140 nm である。このうち、サファイア基板上 GaN 薄膜を設計膜厚まで調整するた め誘導結合プラズマ反応性イオンエッチング(ICP-RIE)によりエッチングを行った。Cl2 流量を 15 sccm と し、アンテナパワーを 50 W~350 W、バイアスパワーを7 W~30 W、チャンバ圧力を 0.20 Pa~3.33 Paの 範囲で変化させ、膜厚 398 nm ~ 502 nm の GaN 薄膜を 80 秒~100 秒間エッチングした。エッチング前後 の膜厚を分光エリプソメトリーで測定し、表面平坦性を原子間力顕微鏡(AFM)で観察した。

エッチング後の表面形状はアンテナパワーとチャンバ圧力に依存して変化した。アンテナパワー250 W かつチャンバ圧力 0.20 Pa の条件でのみエッチング後の表面には As-grown 表面のステップーテラス構 造に類似した形状が観察されたが、その他の条件ではピラー形状が確認された。アンテナパワー250 W かつチャンバ圧力 0.20 Pa の条件でバイアスパワーを変化させても表面形状はあまり変化しなかった。 AFM 像から算出される平均二乗(RMS)粗さは、バイアスパワー20 W 以上でエッチングしたときにほとん ど変化しなかった。これらの条件のうちバイアスパワーが最も低い 20 W におけるエッチングレートは 3.5 nm/sec と遅く、精密な膜厚制御が可能と考えられる。

次に、上記の条件で膜厚 1266 nm の+c-GaN 薄膜を 285 nm まで 282 秒間エッチングした。エッチング 前後の 100 × 100 μm<sup>2</sup>領域の表面 AFM 像を Fig. 1 に示す。エッチングに伴う表面形状の特異な変化は みられなかった。Fig. 1 における RMS 粗さは、エッチング前で 2.4 nm (Fig. 1(a))、エッチング後で 2.3 nm (Fig. 1(b))であり、マクロな範囲において RMS 粗さを増大させず設計膜厚付近までエッチングすることが できた。当日はエッチング条件と接合強度の関係について報告する。

謝辞:本研究は JSPS 科研費 JP17H01063, JP19H04543 の助成を受けたものである。

試料は東芝彦坂年輝氏よりご提供いただいた。

[1] 山口他, 応物春 17a-E202-1(2018).

[2] 小野寺他, 応物春 17a-E202-2(2018). [3] 小野寺他, 応物秋 21a-146-3(2018).

> 35 nm 35 nm (b) (a) 0 nm 0 nm

Fig. 1 AFM images of  $100 \times 100 \,\mu\text{m}^2$  area ((a)As-grown, (b)After etching).